

사용후핵연료 수송/저장 연소도 적용용기 설계특성 분석

윤정현, 이강욱*, 박제호*, 최윤지, 이은용, 이상인
 한국방사성폐기물관리공단, 대전시 유성구 대덕대로 1045
 *(주)코네스코퍼레이션, 대전시 유성구 장대동 341-4
jhyoon@krmc.or.kr

1. 서론

현재 국내에서 운영 중인 20기(PWR 원전 16기, CANDU 원전 4기)의 원자력발전소(이하 원전)에서 방출되는 사용후핵연료는 원전 내 임시저장시설에 저장되어 있으며, 저장량은 저장용량의 약 85%에 이르고 있다. 또한 최근 핵연료 경제성을 높이기 위해 고농축/고연소도의 핵연료 사용이 실용화됨에 따라, 현재 건식 저장시설 운영에 사용되는 수송·저장용기 설계의 과도한 핵임계 안전 여유도는 비효율적이고 비경제적이라는 지적들을 받고 있다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위해, 일부 선진국들에서는 사용후핵연료 특성(액티나이드 및 핵분열생성물)이 반영된 핵임계 해석기법[연소도 이득(Burnup Credit, BUC)을 수송, 저장 심지어 처분시설에 적용하는 연구가 이루어지고 있다. 또한 건식 저장시설의 저장밀도 증가를 위한 원전사업자의 요구에 편승하여, 수송·저장용기 제조사별 연소도이득이 반영된 수송·저장용기의 설계 및 제작이 이루어지고 있으며, 인허가를 진행하고 있는 단계이다. 그러나 국내의 경우, 원전내 습식저장조의 조밀랙 설계에 연소도이득(BUC)이 일부 반영된 수준이며, 향후 중간저장시설에 사용될 수송·저장용기의 연소도이득(BUC) 적용에 관한 연구는 현재 국외 핵임계 해석기법의 습득단계에 머물러 있다. 따라서 본 논문에서는 향후 국내 중간저장시설 운영에 사용될 수송·저장용기의 연소도이득(BUC) 적용 타당성 검증에 사용될 평가모델의 표본모델 선정 목적을, 현재 개발되었거나 개발단계에 있는 국외 연소도이득(BUC) 적용 수송·저장용기의 설계특성을 분석하여 활용하고자 한다.

2. 용기 설계특성(핵임계측면)

본 장에서는 국내 수송·저장용기의 연소도이득(BUC) 적용 타당성 검증에 사용될 평가모델의 표본모델 선정과 국외 연소도이득(BUC) 적용 용기의 국내 직접 적용성 유무를 판단하는 기초자료 도출을 위해, NRC로부터 CoC(CERTIFICATE OF COMPLIANCE)를 받은 HOLTEC사의 HI-STAR100 MPC32 수송용기와 현재

인허가 중이거나 개발단계에 있는 HOLTEC사의 HI-STAR180, Transnuclear 사의 TN-40 및 NUHOMS System MP197HB 수송용기 중 SAR(Safety Analysis Report)가 확보된 HI-STAR100 MPC32와 TN-40에 대한 설계특성을 분석하였다.[1][2]

2.1 HOLTEC MPC32

미국 Holtec Int.사는 연소도 이득이 적용된 32다발의 PWR 사용후핵연료를 장전 할 수 있는 새로운 다목적 캐니스터인 MPC32를 개발하였으며, 관련규정에 따라 2006년 10월 MPC32가 장착된 HI-STAR100에 대한 B(U)형 수송용기 인허가(Docket No. 71-9261)를 취득하였다. 핵임계측면의 사용후핵연료 장전 제한치와 관련하여, Table 1에 핵연료 타입과 특성을 나타냈다. 각각의 장전 제한치중 보수적 제한치를 기초로 MPC32의 통합 장전곡선 및 장전가능영역을 Fig. 1에 제시하였다.

Table 1. Design basis Fuels of MPC32

	15x15 Fuel			17x17 Fuel		
.U.max(kg/assy)	475	475	475	467	467	467
.Fuel Rod No.	208	208	208	264	264	264
.Fuel Pellet Dia. max(mm)	9.49	9.42	9.52	7.84	8.21	8.26
.Fuel Rod Pitch. min(mm)	14.43	14.43	14.43	12.60	12.6	12.8
.Active Fuel. max (mm)	3810	3810	3810	3810	3810	3810
.G T/I T mi(mm) Thick.	0.38	0.36	0.36	0.41	0.36	0.51

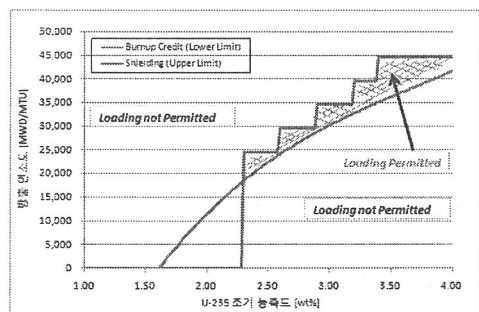


Fig. 1. MPC-32 Loading Curve over Burnup

2.2 TN-40 Dual Purpose Cask

Transnuclear사에서 개발된 TN-40 Dual Purpose Cask는 PWR 핵연료집합체 40개를 장전하여 수송 및 저장에 가능하도록 설계된 금속용기로서, 1993년에 Xcel Energy사에서 운영하는 Prairie Island 건식저장시설의 인허가 취득을 통해 미국 NRC로부터 저장에 관한 사용허가를 승인 받았으며, 현재 24개의 TN-40 금속용기가 Prairie Island 건식저장시설에서 운영되고 있다. TN-40 금속용기는 사용후핵연료가 장전되는 바스켓과 용기본체(셀, 바닥, 뚜껑) 및 보호용 덮개대(protective cover)와 같은 기타 구성품으로 이루어져 있다. 일반적으로 TN 계열의 금속용기는 구조재 및 감마선 차폐체로 사용되는 탄소강과 중성자 차폐재인 폴리에스테르 수지로 구성되며, 용기내부의 격납용기 내부 셀과 바닥 마감부에 의해 감마선 차폐가 이루어진다. 사용후핵연료가 장전되는 용기본체 내부의 바스켓은 탄소강 재질로서, 알루미늄 격자구조 판넬 내부에 삽입된 중성자 흡수체(BoralTM, B10=4.43w%)가 샌드위치 방식으로 위치하고 격납용기의 배수 및 배기를 위해 2개의 관통부가 설치되어 있는 특징을 갖는다(Fig. 2 참조).

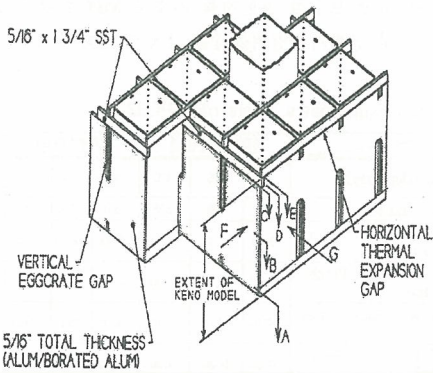


Fig. 2. TN-40 Basket Structure

최근 Transnuclear사는 향후 Prairie Island 건식저장시설의 사용후핵연료 수송에 대비하여, ISG-8에 제시된 연소도 이득효과 적용 설계기준에 따라 기존의 TN-40 Dual Purpose Cask에 대한 수송용기 설계요건 충족여부를 평가하였으며, 그 결과를 토대로 2006년 8월 미국 NRC에 수송용기 인허가를 신청하여 현재(2009년) 수송용기 사용에 관한 인허가가 진행 중에 있다. 연소도이득이 적용된 TN-40 수송용기의 통합 장전곡선을 Fig. 3에 나타냈다.

Table 2. Design basis Fuels of TN-40

	Exxon/ANF14x14			WH14>4	
	Std	H. BU	Top Rod	Std	OFA
.Fuel Rod No.	179	179	179	179	179
.Cladding O.D.(mm)	10.8	10.8	10.6	10.7	10.2
.Cladding Thick.(mm)	0.76	0.79	0.75	0.62	0.62
.Pellet O.D.(mm)	9.06	9.06	8.90	9.30	8.75
.Active Fuel Len.(mm)	3658	3658	3658	3658	3658
.G.T O.D.(mm)	13.7	13.7	13.7	13.7	13.4
.G.T I.D.(mm)	12.9	12.9	12.9	12.8	12.4

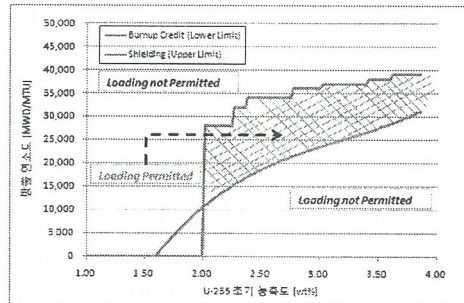


Fig. 3. TN-40 Loading Curve over Burnup

3. 결론

최근 고농축/고연소도의 핵연료 사용이 실용화됨에 따라 현 건식저장시설의 설계방식에 의한 과도한 핵임계 안전 여유도 적용이 문제시되고 있다. 본 논문에서는 현재 설계 및 인허가 진행 중인 HOLTEC사의 HI-STAR100 MPC32와 Transnuclear사의 TN-40에 대한 설계특성을 분석하였다. 따라서 향후 국의 연소도이득(BUC) 적용 용기의 국내 직접 적용은 취급성, 사용후핵연료 수송성 측면에서 분석이 이루어져야하며 국내 사용후핵연료 연소이력 및 설계특성이 반영되는 개발로써 이루어져야 한다.

4. 참고문헌

[1] Holtec International, "Safety Analysis Report: Storage, Transport, and Repository Cask System, DOCKET No. 71-9261" (2006)
 [2] Transnuclear, "TN-40 Transportation Packaging Safety Analysis Report, DOCKET No. 9313"(2006)